

ЛИТЕРАТУРА

1. Жданов Е.К., Барабичкая Л.И. Повышение атмосферостойкости кромок древесностружечных плит в конструкциях панельных домов. - В кн.: Производство стандартных деревянных домов и столярно-строительных изделий. - Балабаново, 1977.
2. Жданов Е.К. Определение степени гидрозащиты и упрочнения кромок древесностружечных плит, применяемых в деревянном панельном домостроении. - В кн.: Производство стандартных деревянных домов и столярно-строительных изделий. - Балабаново, 1980.
3. ТУ-13-548-80. Плиты древесностружечные на фенолоформальдегидном связующем для ограждающих конструкций малоэтажных деревянных домов. - М., 1980. - с.
4. А.с. 666081 [СССР]. Устройство для пропитки кромок плит. /Е.К. Жданов. - Оpubл. в Б.И. 1979, № 21.
5. А.с. 821153 [СССР]. Устройство для пропитки кромок плит. /Е.К. Жданов, Л.Г. Новоселов. - Оpubл. в Б.И., 1981, № 14.

УДК 674.81

А.И. Вигдорович

(Кировский политехнический институт)

ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ И НАБУХАНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ МДП

Древесные прессовочные массы МДП (ГОСТ 11368-79) находят все более широкое применение для изготовления деталей машин. Внедрение МДП затрудняется из-за способности деталей поглощать воду и изменять размеры в результате водопоглощения. Известны работы по исследованию водопоглощения древесностружеч-

ных, древесноволокнистых плит, древесных слоистых пластиков, изделий из МДП и фенольных пресс-порошков [1...8]. Результаты позволили перейти к рассмотрению сущности процессов, происходящих при водопоглощении и набухании деталей из МДП.

Так как в деталях из МДП пустоты капилляров древесных частиц сжаты и почти полностью заполнены связующим, проникновение жидкостей под действием капиллярных сил маловероятно. Избыточное давление при водопоглощении образцов из МДП невелико и вряд ли окажет существенное влияние. Оставалось предположить, что водопоглощение деталей из МДП основано на явлениях диффузии. Это предположение подтверждалось работой [8], показавшей, что водопоглощение образцов из фенольных прессовочных масс, содержащих древесную муку, можно рассчитать по закономерностям диффузии. Изложенное дало основание для попытки рассчитать водопоглощение образцов из МДП по аналогии с образцами из полимеров.

Заменяя в законах Фика концентрацию $C = \frac{\Delta M}{V_0}$ на водопоглощение

$$\Delta W = \frac{\Delta M}{M_0} \cdot 100 \quad (1)$$

при $M_0 = \rho_u V_0$, получим

$$C = \Delta W \frac{\rho_u}{100}, \quad (2)$$

где M_0 , ΔM — первоначальная масса тела и ее приращение при водопоглощении соответственно;

ρ_u — плотность образца из МДП;

V_0 — объем образца из МДП до погружения в воду.

Таким образом, между объемной концентрацией воды в образце и его водопоглощением имеется зависимость, позволяющая заменить в уравнениях диффузионных процессов концентрацию C на водопоглощение ΔW , при условии неизменности ρ_u . Известно, что плотность образца при водопоглощении изменяется, а начальная влажность образцов из МДП не равна нулю [6, 7], но обычно невелика. В большинстве диффузионных систем при длительности контакта $\tau = 0$ начальная концентрация $C_0 = 0$,

и глубина проникновения диффундирующего вещества $x = 0$. Предпринята попытка пренебречь изменениями плотности образца при водопоглощении, считать начальную концентрацию, равной нулю, и рассчитать ΔW образцов из МДП по уравнениям, полученным для неограниченной пластины при симметричном воздействии среды [9], $C_0 = 0$, критерий Фурье $F_0 < 0,2$ и заменить величин по уравнению (2). Тогда в соответствии с решением Больцмана, получим $\Delta W = 2 \Delta W_\infty \sqrt{\frac{D\tau}{\pi}}$; $F_0 = \frac{4D\tau}{h^2}$;

$$\Delta W = \frac{4 \Delta W_\infty}{h} \sqrt{\frac{D\tau}{\pi}}, \quad (3)$$

где ΔW_∞ - предельное водопоглощение, %;

F_0 - безразмерный критерий Фурье;

h - толщина пластины;

D - коэффициент диффузии.

При больших значениях критерия Фурье, начиная с $F_0 = 0,2$, с заменой по (2) и считая все члены ряда: $\Delta W = \Delta W_\infty \left[1 - \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D\tau}{h^2}\right) - \frac{8}{9\pi^2} \exp\left(-\frac{9\pi^2 D\tau}{h^2}\right) - \frac{8}{25\pi^2} \exp\left(-\frac{25\pi^2 D\tau}{h^2}\right) \right]$ малыми по сравнению с первым, получим:

$$\Delta W = \Delta W_\infty \left[1 - \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D\tau}{h^2}\right) \right]. \quad (4)$$

Коэффициент диффузии в начальной стадии процесса при $\frac{\Delta W}{\Delta W_\infty} = 0,5$ равен [10]: $D = \frac{\pi h^2}{16\tau} \left(\frac{\Delta W}{\Delta W_\infty} \right)^2$ или с достаточной для практики точностью

$$D = \frac{0,04939}{(\tau/h^2)}. \quad (5)$$

Для определения коэффициента диффузии применили феноменологический подход к процессу проникновения жидкости в образец из МДП и весовой (сорбционный) метод.

Образцы в форме дисков размерами $d = 50 \pm 1$ мм, $h = 3 \pm 0,2$ мм, $10 \pm 0,2$, $20 \pm 0,2$ и брусков размерами $l = 160 \pm 2$ мм, $b = 15 \pm 0,5$ мм и $h = 8 \pm 0,5$ мм изготовли-

вали и кондиционировали* в соответствии с ГОСТ 11368-79, затем их погружали в дистиллированную воду, выдерживали в ней заданное время при температуре 293...295 К и определяли водопоглощение и набухание по методике ГОСТ 4650-73 до достижения значений ΔW_{∞} . Для исследования набухания образцы измеряли микрометрами в нескольких сечениях с фиксацией точек, в которых определены размеры, и рассчитывали набухание по формулам:

$$\Delta h = h_{\tau} - h_0 \cdot 100/h_0; \quad (6)$$

$$\Delta b = b_{\tau} - b_0 \cdot 100/b_0; \quad (7)$$

$$\Delta d = d_{\tau} - d_0 \cdot 100/d_0, \quad (8)$$

где $\Delta h, \Delta b, \Delta d$ - соответственно относительное набухание по толщине образца (в направлении усилия прессования), по ширине и по диаметру, %;

h_0, b_0, d_0 - начальные размеры образца;

$h_{\tau}, b_{\tau}, d_{\tau}$ - размеры образца после пребывания в воде в течение времени τ .

Определяли водопоглощение и набухание для каждого времени τ на 10...20 образцах. Полученные результаты обрабатывали статистически по ГОСТ 14359-69 и наносили на графики, приведенные на рис.1. Известно [9], что закон Фика выполняется, и коэффициенты диффузии постоянны, если кривые водопоглощения образцов в координатах $\Delta W = f(\sqrt{\tau})$ на начальном участке представляют собой прямые линии. Приведенные на рис.1 зависимости являются прямыми линиями почти до момента насыщения и могут быть аппроксимированы уравнениями вида:

$$\Delta W = -\frac{\tau_0}{h} + \gamma\sqrt{\tau}, \quad (9)$$

* Экспериментальная часть исследования выполнена под руководством и при непосредственном участии канд. техн. наук Дуброва В.Н., которому автор выражает глубокую признательность.

где τ_0 - стрелок времени, отсекаемый на оси $\sqrt{\tau}$ прямолинейными участками зависимости, который целесообразно назвать инкубационным периодом, ч;
 h - толщина образца, мм;
 φ - тангенс угла наклона прямолинейного участка зависимости по отношению к оси $\sqrt{\tau}$;
 τ - длительность пребывания образца в воде, ч.

Следовательно, принятые выше допущения являются корректными и законы Фика соблюдаются для образцов МДП.

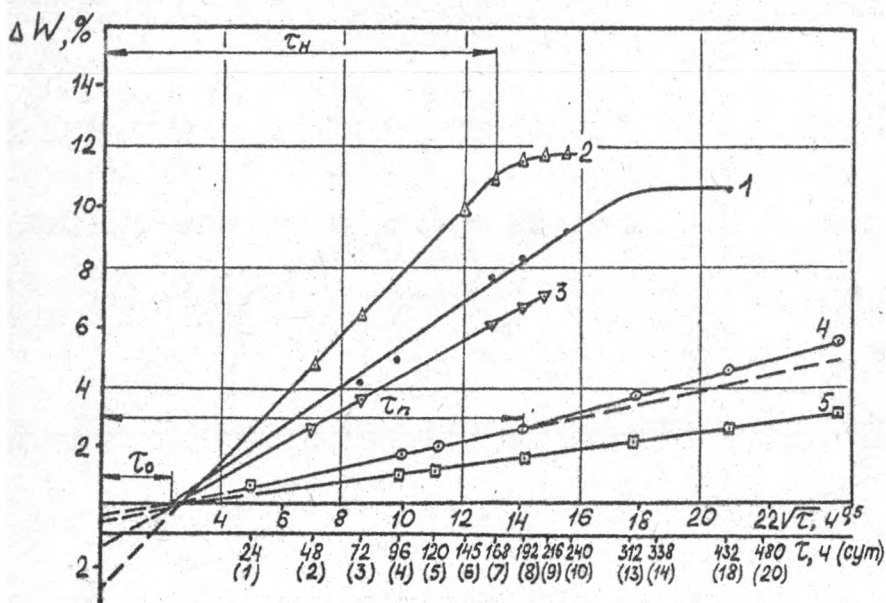


Рис. 1. Кинетические кривые водопоглощения дисков диаметром 50 мм из материалов: МДПК-В₄ (1, 4, 5) и МДПК-В₂ (3) ГОСТ 11368-79; МДПК-В₄ (2) ГОСТ 11368-69. Толщина диска: 3 мм (1, 2, 3); 10 мм (4); 20 мм (5)

Расчеты по уравнению (5) и по ускоренному методу [11] показали, что для образцов из пресс-масс марок МДПК-В₂, МДПК-В₄ (ГОСТ 11368-79), МДПК-В₄ и МДПК-В₃ (ГОСТ 11368-69) коэффициенты диффузии соответственно равны: $0,74 \cdot 10^{-12}$; $1,34 \cdot 10^{-12}$ и $2,6 \cdot 10^{-12}$ м²/с. Значения констант уравнения (9) для образцов различных размеров и формы из нескольких марок пресс-масс приведены в таблице

марка пресс-массы, ГОСТ	Форма, обозначение и размеры образца, мм	Завод-изготовитель пресс-массы	τ_0 , ч	γ	Кривая на рис. 1 и 2
МДПК-В ₄ (ГОСТ 11368-79)	Диск $d = 50, h = 3$	Слободской фанерный комбинат "Красный Якорь"	4,0	0,662	1
	Диск $d = 50, h = 10$			0,216	4
	Диск $d = 50, h = 20$			0,124	5
МДПК-В ₄ (ГОСТ 11368-69)	Диск $d = 50, h = 3$	Кировский завод синтетических стройматериалов	6,5	1,058	2
МДПК-В ₂ (ГОСТ 11368-79)	Диск $d = 50, h = 3$		5,0	0,562	3
МДПК-В ₄ (ГОСТ 11368-79)	Брусok O, $\ell = 160, b = 15, h = 8$	Слободской фанерный комбинат "Красный Якорь"	3,2	0,222	1
	Брусok OП, $\ell = 160, b = 15, h = 8$			0,197	2
	Брусok OБ, $\ell = 160, b = 8, h = 15$			0,0886	3

Известно, что анизотропия структуры композиционных материалов обуславливает анизотропию их переносных свойств [9]. Представлялось необходимым определить, соблюдается ли эта закономерность на образцах из МДП. С этой целью у стандартных

брусков из той же партии пресс-массы марки МДПК-В₄, что и диски при $h = 3$ мм, 10 мм, 20 мм, гидроизолировали липкой ПЕХ лентой часть граней бруска (О – открыта вся поверхность, ОП – открыты пласти, ОБ – открыты боковые поверхности. См. рис. 2) и погружали бруски в воду, причем процесс диффузии осуществлялся либо параллельно направлению усилия прессования (ОП), либо перпендикулярно ему (ОБ). Качество гидроизоляции проверялось путем полной изоляции бруска лентой и его погружения в воду на 3 сут. При этом с помощью аналитических весов не было обнаружено изменение массы образца. Значения водопоглощения, полученные в эксперименте, наносили на графики (рис. 2) и использовали для расчета коэффициентов диффузии, которые составляли для брусков ОП – $1,44 \cdot 10^{-12}$ м²/с, ОБ – $1,47 \cdot 10^{-12}$ м²/с. Полученные величины несут существенной (на 5%) разницы между собой и лишь на 6...10% больше значений, определенных на дисках. Следовательно, коэффициенты диффузии воды в образцы из МДП не зависят от направления усилия прессования и ориентации древесных наполнителей. Это позволило определить коэффициент диффузии для двумерного процесса на бруске (схема О, рис. 2) из пресс-массы МДПК-В₄, который оказался равен $D_{gb} = 5,65 \cdot 10^{-13}$ м²/с и при $F_0 < 0,2$ может быть определен по уравнению [9]

$$\Delta W = \frac{4 \Delta W_{\infty}}{h} \sqrt{\frac{D \tau}{\pi}} \left(1 + \frac{1}{n}\right), \quad (10)$$

где $n = \frac{b}{h}$ – коэффициент, зависящий от отношения ширины образца к толщине.

Анализ рис. 1 и 2 показал, что в процессе водопоглощения можно различить 3 этапа: от $\tau = 0$ до τ_0 период инкубационный, в течение которого увеличения массы образца не происходит; от τ_0 до τ_n – период водопоглощения, пропорционального $\sqrt{\tau}$; от τ_n до τ_H – период насыщения. Соответственно было предложено называть точку τ_n пределом пропорциональности при водопоглощении и (как будет показано ниже) набухания, а точку τ_H – пределом насыщения. В некоторых случаях (кривые 1 и 2 на рис. 1) τ_n и τ_H совпадают.

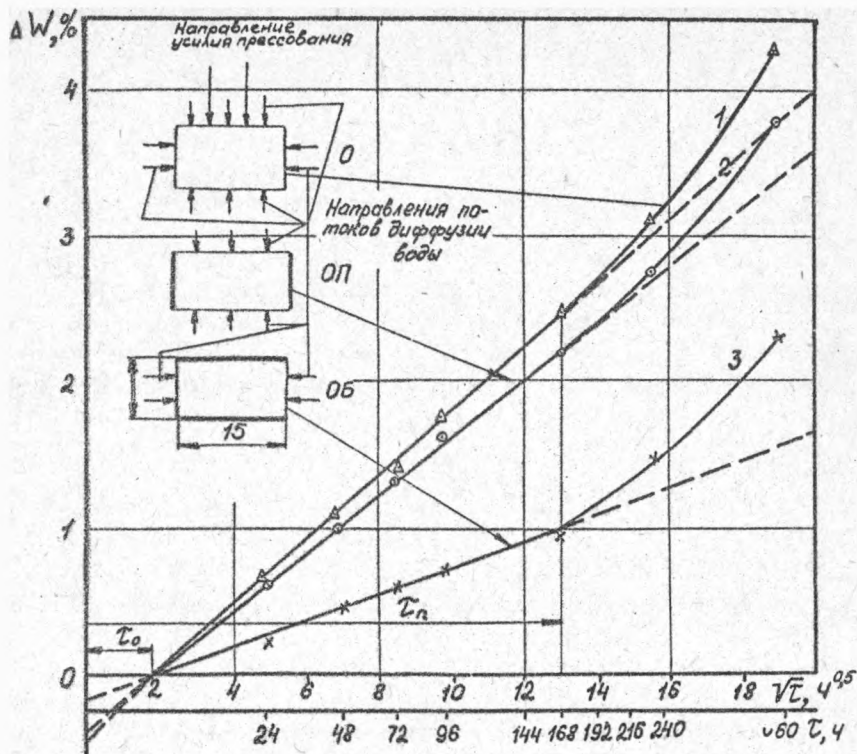


Рис. 2. Кинетические кривые водопоглощения брусьев размерами $l = 160$ мм, $b = 15$ мм, $h = 8$ мм из пресс-массы МДПК-В₄: 1 - полностью открытых (схема 0); 2 - открытых со стороны пластин (схема ОП); 3 - открытых с боковых поверхностей (схема ОБ)

С учетом инкубационного периода формулы (3), (4) и (10) примут вид:

$$\Delta W = \frac{4\Delta W_{\infty}}{h} \sqrt{\frac{D(\tau - \tau_0)}{\pi}}; \quad (11)$$

$$\Delta W = \frac{4 \Delta W_{\infty}}{h} \sqrt{\frac{D(\tau - \tau_0)}{\pi}} \left(1 + \frac{1}{h}\right); \quad (12)$$

$$\Delta W = \Delta W_{\infty} \left[1 - \frac{8}{h^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D(\tau - \tau_0)}{h^2}\right)\right]. \quad (13)$$

Установлено, что с помощью уравнений (11...13) можно прогнозировать водопоглощение образцов из МДП до значений τ_n с погрешностью менее 15%, а с помощью уравнения (9) – менее 5%. В работе [7] показано, что водопоглощение зависит от диаметра древесных частиц D_{cp} и их удельных наружных поверхностей $S_{нар}$: $\Delta W = 1,6 + 1,3 \lg D_{cp}$; $D_{cp} = 200/S_{нар}$. Следовательно,

$$\Delta W = 1,6 + 1,3 \lg 200/S_{нар}. \quad (14)$$

Расчет значений ΔW по данным, приведенным в [7], показал, что при уменьшении $S_{нар}$ в 6,8 раза ΔW увеличивается в 2,1 раза, а при изменении состава и строения связующего за счет изменения частоты узлов полимерной сетки можно уменьшить водопоглощение в 13,5 раза. Кроме указанных факторов, водопоглощение можно уменьшить в 5,7...6,9 раза, изменяя содержание связующего; в 2 раза – температуру прессования; в 3 раза – давление прессования [8]; в 3,6 раза – длительность выдержки; в 6 раз – влажность пресс-массы [7].

Потребителей деталей из МДП чаще всего интересует не водопоглощение, а набухание, вызывающее увеличение размеров, связанное с потерей конструктивной определенности. Зависимости между водопоглощением и набуханием образцов из МДП описываются графиками и уравнениями, приведенными на рис. 3. Набухание можно прогнозировать, используя формулы, аналогичные (9), которые имеют вид:

$$\Delta h = K_h \left(-\frac{\tau_0}{h} + \varphi \sqrt{\tau}\right); \quad (15)$$

$$\Delta b = K_b \left(-\frac{\tau_0}{h} + \varphi \sqrt{\tau}\right); \quad (16)$$

$$\Delta d = K_d \left(-\frac{\tau_0}{h} + y\sqrt{\varepsilon} \right), \quad (17)$$

где K_h, K_b, K_d – коэффициенты, характеризующие зависимости между водопоглощением и набуханием в соответствующем направлении.

Анализ рис.3 показывает, что набухание по толщине, т.е. в направлении вектора усилия прессования, в 3,2...11,7 раза превосходит набухание по ширине и диаметру, т.е. в плоскости, нормальной вектору усилия прессования. Это не противоречит равенству коэффициентов диффузии при водопоглощении параллельно и перпендикулярно вектору усилия прессования. Максимальную стабильность размеров детали из МДП можно получить, ориентируя волокна частиц наполнителя вдоль наиболее точного размера детали (принцип максимальной стабильности размеров).

Если процесс диффузии одномерный, то абсолютное набухание $(h_{\varepsilon} - h_0)$ не должно зависеть от толщины образца h , что экспериментально подтверждено графиками, приведенными на рис.4, где практически на одной линии (до значения T_n) оказались абсолютные набухания $h_{\varepsilon} - h_0$ дисков толщиной 3, 10, 20 мм (обозначения соответственно •, □ и ⊙). Для прогнозирования набухания деталей различной формы и размеров при одномерном процессе диффузии предложено ввести коэффициент ω_h , названный удельной интенсивностью набухания деталей из МДП

$$\omega_h = \frac{\Delta h}{F_{on}/V_0}, \quad (18)$$

где F_{on} – площадь поверхностей пластей.

Для бруска из пресс-массы МДПК-В₄ с размерами 160 x 15 x 8 мм, поглощающего воду по схеме ОП (рис.2), получили значения величины ω_h , приведенные ниже:

Время T , сут...	1	2	3	4	7,5	10	15
ω_h для плоских деталей,							
% x см ...	0,36	0,57	0,72	0,88	1,29	1,52	1,90

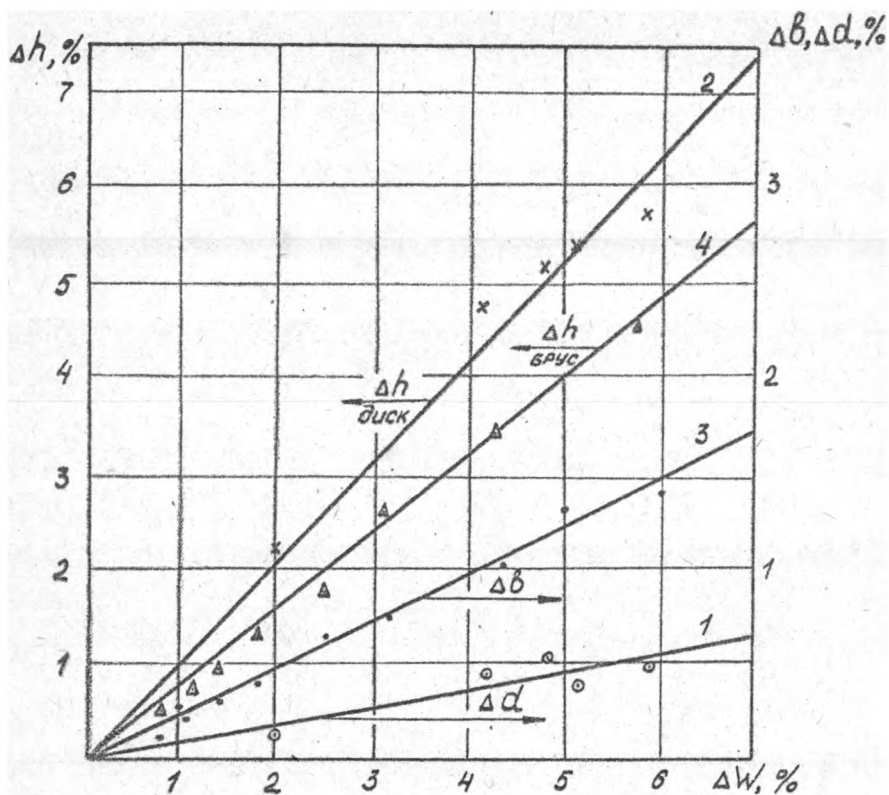


Рис.3. Зависимость между набуханием образцов из мДПК-В₄ по толщине Δh (в направлении прессования), по ширине Δb , по диаметру Δd и водопоглощению ΔW : 1 - $\Delta d = f(\Delta W)$ и 2 - $\Delta h = f(\Delta W)$ для диска $d = 50 \text{ мм}$, $h = 3 \text{ мм}$; 3 - $\Delta b = f(\Delta W)$ и 4 - $\Delta h = f(\Delta W)$ для бруска $160 \times 15 \times 8 \text{ мм}$

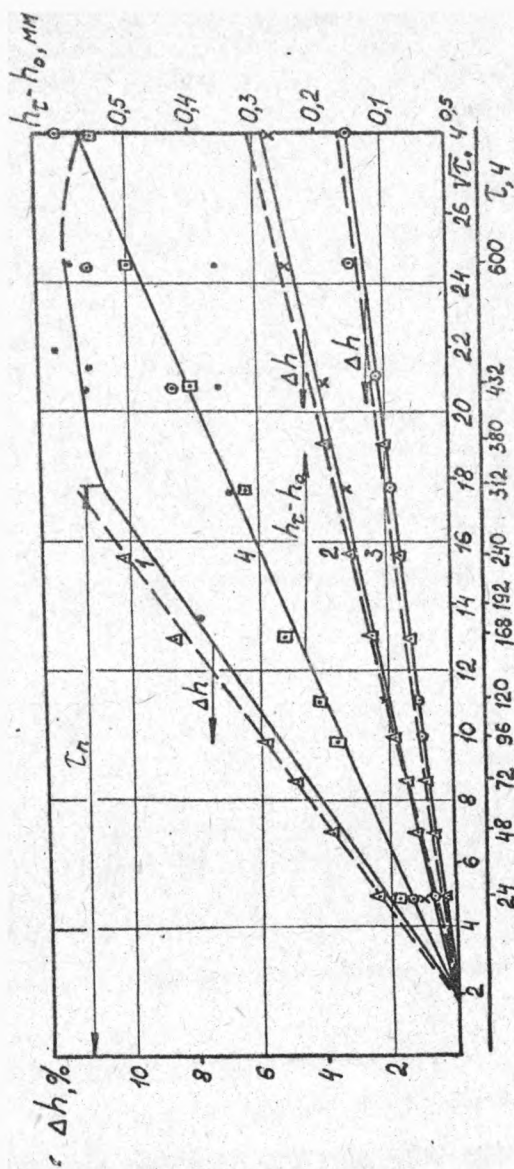


Рис. 4. Кинетика набухания по толщине дисков из МПК-В₄: относительное набухание Δh (1, 2, 3); абсолютное набухание $h_c - h_0$ (4) при толщине диска 3 мм (1), 10 мм (2), 20 мм (3). Пунктирные линии показаны соответствующие расчетные значения Δh .

Подставив в (18) величины F_{on} , V_o любой пластины из пресс-массы МДП-В₄ и значения ω_h из выводов, можно рассчитать её набухание. Такие расчеты, сделанные для дисков при $h = 3...20$ мм, и их результаты, нанесенные на рис. 4, подтвердили удовлетворительное совпадение расчета и эксперимента.

Известно [9], что при взаимодействии на полимеры физические активные сред, к которым относится и вода, их модуль упругости и кратковременная прочность понижается. Аналогичные явления наблюдаются и у древесины. Естественно было ожидать, что после длительного пребывания в воде образцов из МДП их прочность снизится.

Бруски из пресс-массы марки МДП-В₄ испытывали в соответствии с ГОСТ 11368-79 после их выдержки в дистиллированной воде при температуре 293...295 К в течение заданного времени. Результаты испытаний приведены на рис. 5. Как видим, после достижения образцами предела пропорциональности при водопоглощении и набухании τ_n их прочность при изгибе и ударная вязкость существенно понижается. Путем разрезки образцов и изучения их сечений при увеличениях в 3...5 раз было установлено, что причиной столь резкого понижения прочности образцов являются макроскопические трещины, образующиеся и на брусках, и на дисках в момент времени τ_n .

Таким образом, можно считать установленным, что водопоглощение и набухание в воде образцов из МДП происходит пропорционально корню квадратному из времени контакта с водой до достижения предела пропорциональности при водопоглощении и набухании. Затем в образце образуются трещины, что нарушает пропорциональность ΔW , Δh , Δv , $\Delta d = f(\sqrt{\tau})$, резко снижает прочность и ударную вязкость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эльберт А.А. Водостойкость древесностружечных плит. - М., 1970.
2. Хрулев В.М.; Мартынов К.Я. Долговечность древесностружечных плит. - М., 1977.

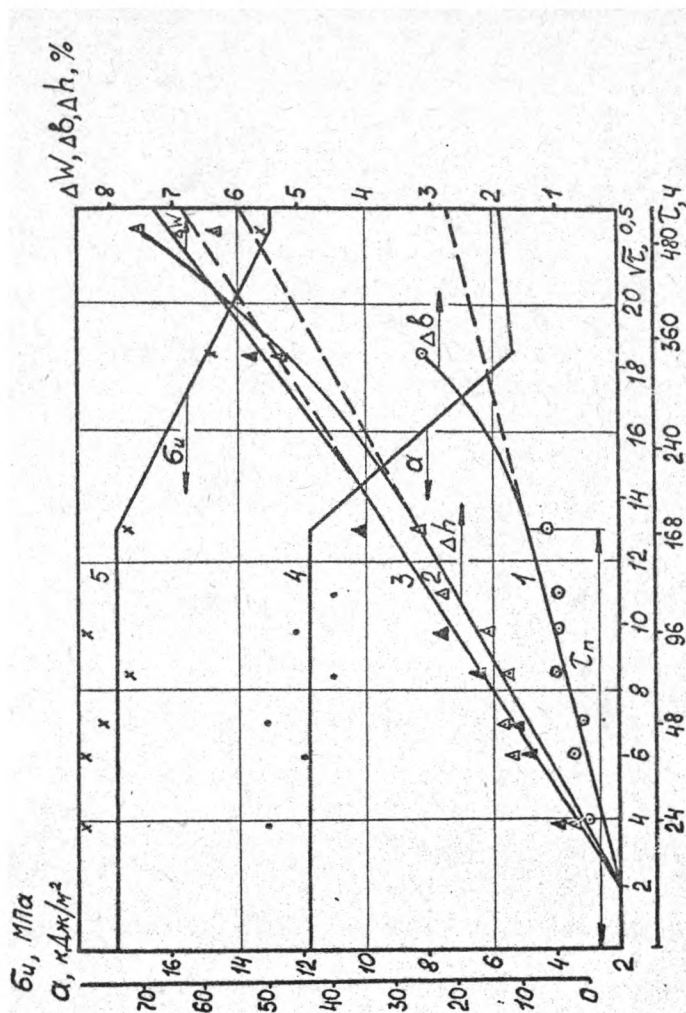


Рис. 5. Изменения водопоглощения ΔW , набухания по толщине Δb и по ширине Δb , ударной вязкости α и разрушающего напряжения при изгибе b_n в зависимости от длительности пребывания образца в воде

3. Шейдин И.А., Подик П.Э. Технология производства древесных пластиков и их применение. - М., 1971.
4. Пешехонов А.А. Благоемкость изделий из фенолальдегидных пресс-материалов. - Пластические массы, 1961, № 11.
5. Пешехонов А.А. Водопоглощение образцов из фенольных пресс-порошков. - Производство и переработка пластических масс, синтетических смол и стеклянных волокон, 1966, № 7.
6. Минин А.Н., Горбачева А.П. Влияние режимов прессования на свойства композиционных древесных пластиков. - Деревообрабатывающая промышленность, 1964, № 12.
7. Савиных В.П. Выбор связующего и исследование влияния основных технологических факторов по свойствам композиционных древесных пластиков: Дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. - Минск, 1970 (Белорусский технологический институт).
8. Quackenbos H.M., Hill J.M. *Effect of Absorben Water on Physical Properties of Phenolic Plastic. - Transaction of ASME, 1952, v 74, N 1.*
9. Степанов Р.Д., Шленский О.Ф. Расчет на прочность конструкций из пластмасс, работающих в жидких средах. - М., 1981.
10. минин В.Н., Громов А.Н. Физико-химическая стойкость полимерных материалов в условиях эксплуатации. - Л., 1980.
11. Юрьев С.В., Лушник В.В. О методе определения коэффициентов диффузии среды в полимерные материалы. - Физико-химическая механика материалов, 1974, т.10, № 1.